



Atty Dkt. No.
33766W028

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): Ralf Zuber et al.

U.S. Serial No.: 09/844,677

Group Art Unit: 745

Filed: April 30, 2001

Examiner: To Be Assigned

For: GAS DIFFUSION STRUCTURES AND GAS DIFFUSION ELECTRODES FOR
POLYMER ELECTROLYTE FUEL CELLS

CLAIM FOR PRIORITY

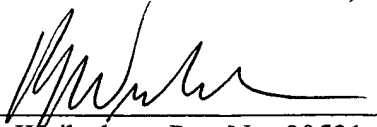
Asst. Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

Under the provisions of Section 119 of 35 U.S.C., applicants hereby claim the benefit of European application No. 00 109 276.6, filed in Europe on April 28, 2000 relating to the above-identified United States patent application.

In support of applicants' claim for priority, a certified copy of said European application is attached hereto.

Respectfully submitted,
SMITH, GAMBRELL & RUSSELL, LLP

By 
Robert G. Weilacher - Reg. No. 20531
1850 M Street, N.W.
Washington, D.C. 20036
Telephone: 202/659-2811

July 19, 2001

#5



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

00109276.6

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

Marlies Nehls

MÜNCHEN, DEN
MUNICH,
MUNICH, LE

16/03/01



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 00109276.6

Anmeldetag:
Date of filing: 28/04/00
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
dmc2 Degussa Metals Catalysts Cerdec AG
60287 Frankfurt am Main
GERMANY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Gasverteilerstrukturen und Gasdiffusionselektroden für Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

H01M4/96

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/~~SI~~
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

**Gasverteilerstrukturen und Gasdiffusionselektroden
für Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen**

EPO - Munich
24

28. April 2000

Beschreibung

Die Erfindung betrifft Gasverteilerstrukturen und Gasdiffusionselektroden für Brennstoffzellen, insbesondere PEM-Brennstoffzellen, bei denen ein festes Polymer als Elektrolyt eingesetzt wird.

Brennstoffzellen wandeln einen Brennstoff und ein Oxidationsmittel örtlich voneinander getrennt an zwei Elektroden in Strom, Wärme und Wasser um. Als Brennstoff kann Wasserstoff oder ein wasserstoffreiches Gas, als Oxidationsmittel Sauerstoff oder Luft dienen. Der Vorgang der Energieumwandlung in der Brennstoffzelle zeichnet sich durch einen besonders hohen Wirkungsgrad aus. Aus diesem Grunde gewinnen Brennstoffzellen in Kombination mit Elektromotoren zunehmend Bedeutung als Alternative für herkömmliche Verbrennungskraftmaschinen.

Die sogenannte Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle (PEM-Brennstoffzelle) eignet sich aufgrund ihrer kompakten Bauweise, ihrer Leistungsdichte sowie ihres hohen Wirkungsgrades für den Einsatz als Energiewandler in Elektroautomobilen.

Die PEM-Brennstoffzelle besteht aus einer stapelweisen Anordnung („Stack“) von Membran-Elektrodeneinheiten (MEE), zwischen denen bipolare Platten zur Gaszufuhr und Stromleitung angeordnet sind. Eine Membran-Elektrodeneinheit besteht aus einer Polymerelektrolyt-Membran, die auf beiden Seiten mit Reaktionsschichten, den Elektroden, versehen ist. Eine der Reaktionsschichten ist als Anode für die Oxidation von Wasserstoff und die zweite Reaktionsschicht als Kathode für die Reduktion von Sauerstoff ausgebildet. Auf die Elektroden werden sogenannte Gasverteilerstrukturen aus Kohlefaserpapier oder Kohlevlies aufgebracht, die einen guten Zugang der Reaktionsgase zu den Elektroden und eine gute Ableitung des Zellenstroms ermöglichen. Anode und Kathode enthalten sogenannte Elektrokatalysatoren, die die jeweilige Reaktion (Oxidation von Wasserstoff beziehungsweise Reduktion von Sauerstoff) katalytisch unterstützen. Als katalytisch aktive Komponenten werden bevorzugt die Metalle der Platingruppe des Periodensystems der Elemente eingesetzt. In der Mehrzahl werden sogenannte Trägerkatalysatoren verwendet, bei denen die katalytisch aktiven Platingruppenmetalle in hochdisperser Form auf die Oberfläche eines leitfähigen Trägermaterials aufgebracht wurden. Die mittlere Kristallitgröße der Platingruppenmetalle

liegt dabei etwa zwischen 1 und 10 nm. Als Trägermaterialien haben sich feinteilige Ruße bewährt.

Die Polymerelektrolyt-Membran besteht aus Protonen leitenden Polymermaterialien. Diese Materialien werden im folgenden auch kurz als Ionomer bezeichnet. Bevorzugt wird ein Tetrafluorethylen-Fluorvinylether-Copolymer mit Säurefunktionen, insbesondere Sulfonsäuregruppen, verwendet. Ein solches Material wird zum Beispiel unter dem Handelsnamen Nafion[®] von E.I. DuPont vertrieben. Es sind jedoch auch andere, insbesondere fluorfreie Ionomermaterialien, wie sulfonierte Polyetherketone oder Arylketone oder Polybenzimidazole einsetzbar.

10 Für den breiten kommerziellen Einsatz von PEM-Brennstoffzellen in Kraftfahrzeugen ist eine weitere Verbesserung der elektrochemischen Zellenleistung sowie eine deutliche Verminderung der Systemkosten notwendig.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine Steigerung der Zellenleistung ist eine optimale Zu- und Abfuhr der jeweiligen Reaktivgasmischungen zu und von den katalytisch aktiven Zentren der Katalysatorschichten. Neben der Zufuhr von Wasserstoff zur Anode muss das Ionomermaterial der Anode ständig durch Wasserdampf (Befeuchtungswasser) befeuchtet werden, um eine optimale Protonen-Leitfähigkeit zu gewährleisten. Das an der Kathode gebildete Wasser (Reaktionswasser) muss kontinuierlich abgeführt werden, um eine Flutung des Porensystems der Kathode und damit eine Behinderung der Versorgung mit Sauerstoff zu vermeiden.

Die US-PS 4,293,396 beschreibt eine Gasdiffusionselektrode, die aus einem offenporigen, leitfähigen Kohlefaservlies besteht. Eine homogene Mischung aus katalysierten Kohlenstoffpartikeln und hydrophoben Partikeln eines Bindermaterials ist gleichmäßig über das Kohlefaservlies verteilt und in die offenen Poren eingebracht.

25 Die deutsche Offenlegungsschrift DE 195 44 323 A1 stellt eine Gasdiffusionselektrode für Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen vor, die ein Kohlefaservlies enthält, das mit einer Mischung aus einer Ruß-Suspension und einer Polytetrafluorethylen-Suspension beschichtet und anschließend gesintert ist.

30 In der EP 0 869 568 wird eine Gasverteilerstruktur beschrieben, die aus einem Kohlefasergewebe besteht, das auf der der Katalysatorschicht zugewandten Seite mit einer Beschichtung aus Ruß und einem Fluorpolymer versehen wurde.

Die in der US-PS 4,293,396, der DE 195 44 323 A1 und der EP 0 869 568 beschriebenen Gasdiffusionselektroden und Gasverteilerstrukturen sind stark hydrophob und werden durch Befeuchtungs- und Reaktionswasser nicht geflutet. Allerdings wird durch die Füllung der Makroporen der gesamten Schicht mit einer Masse aus Ruß und Polytetrafluorethylen (PTFE) der freie Zutritt der Reaktivgasmischungen zur-Katalysatorschicht deutlich behindert. Dies führt zu niedrigen Leistungswerten im Betrieb mit verdünnten Gasen, wie Luft und Reformatgas, insbesondere bei niedriger Stöchiometrie, das heißt hoher Gasausnutzung.

In der kanadische Patentanmeldung CA 2,052,221 wird ein hydrophobes, poröses und gleichzeitig elektrisch leitfähiges Material beschrieben, das aus einem porösen und elektrisch leitfähigen, blattförmigen Material und einem hydrophoben Polymer besteht, das in das blattförmige Material durch Imprägnieren eingebracht wird. Der Anteil des Polymers beträgt 2 bis 14 Gew.-%.

In WO 97/13287 wird eine elektrochemische Zelle beschrieben, die eine Gasverteilerstruktur beinhaltet, die aus zwei Schichten besteht, wobei die Poren der ersten Schicht kleiner sind als die der zweiten Schicht und die zweite Schicht eine Porosität von mindestens 82 % und eine mittlere Porengröße von mindestens 10 µm aufweist. Ebenfalls wird eine nicht gewobene Gasverteilerstruktur beschrieben deren zweite Schicht eine Porosität von mindestens 50 % und eine mittlere Porenweite von 35 µm aufweist. Die Porengröße der feinporigen Schicht wird mit 0,1 – 10 µm und ihre Porosität mit wenigstens 10 % angegeben.

Die in WO 97/13287 beschriebenen Gasverteilerstrukturen erleiden besonders im Betrieb mit befeuchteten Reaktivgasen bei hoher Stromdichte, niedrigem Reaktivgasdruck und niedriger Stöchiometrie Leistungseinbrüche durch Flutung der Gasverteilerstrukturen mit Reaktiv- oder Befeuchtungswasser.

In WO 99/56335 wird eine Unterstützungsschicht beschrieben, die den gleichzeitigen Transport von Gasen und Flüssigkeiten erleichtern soll. Sie besteht aus einem porösen Kohlefasersubstrat, das 75-95% hydrophobes Porenvolumen und 5-25% hydrophile Poren aufweist. Beide Anteile liegen in einer Schicht vermischt vor und stehen in direktem Kontakt. Auch hier sind Poren mit großer Porenweite von einigen 10 µm vorhanden, die bei starkem Anfall von Produktwasser oder bei starker Befeuchtung geflutet werden. Dies führt vor allem bei hoher Stromdichte zu Gastransportproblemen.

In den US-Patentschriften 4,927,514 und 5,441,823 werden Luft-Kathoden und Prozesse zu deren Herstellung beschrieben. Sie bestehen aus einer porösen Trägerschicht aus Kohlenstoff und hydrophobem Polymer, die mit einer aktiven Schicht in Kontakt steht. Diese Schichten werden mit Stützstrukturen aus dünnen Metallnetzen verbunden und versintert. In der US 4,927,514 werden die aktive Schicht und die Trägerschicht noch zusätzlich mit Polymer verbunden. Nachteil der genannten Elektroden ist auch hier der geringe Anteil an offenem Porenvolumen in der Trägerschicht. Dies führt zu niedrigen Leistungswerten im Betrieb mit verdünnten Gasen, wie Luft und Reformatgas, insbesondere bei niedriger Stöchiometrie, das heißt hoher Gasausnutzung. Die eingesetzten Metallnetzstrukturen sind außerdem unter den Arbeitsbedingungen der PEM-Brennstoffzellen der Korrosion unterworfen.

Es war daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, verbesserte Gasverteilerstrukturen, Gasdiffusionselektroden für Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen sowie Verfahren zu ihrer Herstellung bereitzustellen, die die beschriebenen Nachteile des Standes der Technik vermeiden.

Diese Aufgabe wird durch eine Gasverteilerstruktur gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Gasverteilerstruktur vier Schichten enthält, wovon eine durch einen blattförmigen, grobporigen Kohlenstoffträger gebildet wird, der auf beiden Seiten jeweils eine poröse, hydrophobe Schicht aufweist, wobei eine dieser beiden hydrophoben Schichten eine Kontaktschicht als vierte Schicht der Gasverteilerstruktur trägt.

Die grobporige Schicht der Gasverteilerstruktur wird bevorzugt durch ein makroporöses Kohlefasersubstrat mit einer Schichtdicke zwischen 100 und 400 µm gebildet, welches eine unregelmäßige Struktur aufweisen oder aber auch gewebt sein kann.

Die beiden hydrophoben Schichten enthalten wenigstens ein hydrophobes Polymer ausgewählt aus der Gruppe Polyethylen, Polypropylen und Polytetrafluorethylen. Alternativ zu den genannten hydrophoben Polymeren können auch andere organische oder anorganische, hydrophobe Materialien eingesetzt werden. Die Dicke der hydrophoben Schichten beträgt 5 bis 40 µm, bevorzugt 10 bis 20 µm. Für bestimmte Anwendungsfälle kann die Schichtdicke der hydrophoben Schicht auf Anoden- und Kathodenseite unterschiedlich sein. So ist es für den Betrieb des Brennstoffzellensystems nahe Atmosphärendruck vorteilhaft, auf der Anode eine Schichtdicke von 10 bis 25 µm und auf der Kathode von 5 bis 15 µm zu haben.

Die beiden hydrophoben Schichten können sowohl als diskrete Schichten auf den beiden Oberfläche des Kohlenstoffträgers vorliegen als auch von den Oberflächen in den Kohlenstoffträger hineinreichen. Im ersten Fall enthalten die Schichten neben dem hydrophoben Polymer oder der Polymermischung 10 bis 45 Gew.-% Kohlenstoff, bezogen auf das Gesamtgewicht der Schichten, um den Schichten eine elektrische Leitfähigkeit zu verleihen und somit die elektrische Anbindung der aufeinanderfolgenden Schichten zu gewährleisten. Der Kohlenstoff kann aus feinteiligen Kohlenstoffpartikeln oder bevorzugt aus Kohlenstofffasern bestehen.

Im zweiten Fall wird das hydrophobe Polymer oder die Polymermischung von den Oberflächen des Kohlenstoffträgers bis in die gewünschte Tiefe in die Poren des Trägers eingebracht, wobei das hydrophobe Polymer das Porenvolumen des Kohlenstoffträgers im Bereich der hydrophoben Schichten zu 40 bis 60% ausfüllt. Hierbei ist es nicht notwendig, dem hydrophoben Polymer Kohlenstofffasern oder Kohlenstoffpartikel zuzusetzen, da die elektrische Leitung von den Fasern des Kohlenstoffträgers übernommen wird.

Als Kontaktschicht wird im Rahmen dieser Erfindung diejenige Schicht der Gasverteilerstruktur verstanden, die in der Brennstoffzelle mit der Elektrodenschicht in Kontakt steht. Die Kontaktschicht enthält eine innige Mischung aus wenigstens einem hydrophoben Polymer und feinteiligen Kohlenstoffpartikeln, wobei der Anteil der Kohlenstoffpartikel am Gesamtgewicht der Kontaktschicht 40 bis 90 Gew.-% beträgt. Als hydrophobe Materialien für die Kontaktschicht können dieselben Materialien wie für die hydrophoben Schichten eingesetzt werden. Die Dicke der Kontaktschicht beträgt zwischen 5 und 100 μm .

Die beschriebene Gasverteilerstruktur kann zur Herstellung von Gasdiffusionselektroden und von kompletten Membran-Elektrodeneinheiten verwendet werden. Zur Herstellung einer Gasdiffusionselektrode wird auf die Kontaktschicht der Gasverteilerstruktur eine Elektrodenschicht aufgebracht, die einen Elektrokatalysator enthält. Solche Elektrodenschichten sind zum Beispiel in den deutschen Patentanmeldungen DE 196 11 510 A1, DE 198 12 592 und DE 198 37 669 beschrieben. Sie bestehen zumeist aus einem Ionomer und einem darin dispergierten Elektrokatalysator. Je nach dem, ob eine Anode oder Kathode hergestellt werden soll, muss eine entsprechender Katalysator eingesetzt werden. Die in den genannten Patentanmeldungen beschriebenen Elektrodenschichten sind ebenfalls porös mit einer Porosität zwischen 40 und 70 %. Ihre Dicke beträgt zwischen 5 und 100 μm .

Eine komplette Membran-Elektrodeneinheit einer Brennstoffzelle enthält eine Polymerelektrolyt-Membran mit beidseitig aufgetragenen Gasdiffusionselektroden.

Die erfindungsgemäße Gasverteilerstruktur und die daraus aufgebauten Gasdiffusionselektroden und Membran-Elektrodeneinheiten ermöglichen einen guten Zugang der Reaktivgase zu den katalytisch aktiven Zentren der Membran-Elektrodeneinheit, eine effektive Befeuchtung des Ionomers in den Katalysatorschichten und der Membran und den problemlosen Abtransport des Reaktionsprodukts Wasser von der Kathodenseite der Membran-Elektrodeneinheiten.

Die Kontaktschicht weist eine feine Porenstruktur mit Porendurchmessern von unter 10 µm auf. Dadurch wird ein optimaler Transport der Reaktivgase gewährleistet. Die feinen Poren können aufgrund ihrer hydrophoben Natur und ihres kleinen Porendurchmessers nicht mit kondensiertem Wasser geflutet werden, was den Gastransport behindern würde.

Besonders wichtig sind die beiden hydrophoben Schichten der Gasverteilerstruktur. Sie verhindern, dass flüssiges Wasser in den grobporigen Kohlenstoffträger eindringt und sein Porensystem flutet.

Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Gasverteilerstrukturen können kommerzielle, grobporige Kohlefasersubstrate verwendet werden. Es gibt verschiedene Substratmaterialien, die sich in Struktur, Herstellungsverfahren und Eigenschaften unterscheiden. Beispiele für solche Materialien sind Toray-Papier, oder das gewebte Kohlefaservlies AvCarb 1071 HCB von Textron Inc.

Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Gasverteilerstrukturen werden die grobporigen Kohlefasersubstrate in einem ersten Arbeitsschritt an der Ober- und Unterseite mit den hydrophoben Schichten versehen. Das kann auf verschiedene Art und Weise geschehen.

Zur Einbringung der hydrophoben Schichten in den Kohlenstoffträger kann er zum Beispiel nacheinander auf jeder Seite mit einer Paste aus einem pulverförmigen, hydrophoben Polymer und einer flüssigen Phase beschichtet und getrocknet werden. Bei der flüssigen Phase kann es sich um Wasser oder um organische Flüssigkeiten oder Mischungen davon handeln. Nach dem letzten Trocknungsvorgang liegt eine dreischichtige Struktur vor, die zur Versinterung und Einbringung des Polymers bis zur gewünschten Tiefe in den Kohlenstoffträger calciniert wird, das heißt die Struktur wird bis über den Schmelzpunkt des gewählten Polymers erhitzt. Dies kann zum Beispiel bei Einsatz von PTFE durch Erhitzen auf über 330° C erreicht werden.

Zur Beschichtung des Kohlenstoffträgers mit der Paste eignen sich zum Beispiel Rakelverfahren oder andere Auftragstechniken. Nach der Versinterung des Polymers wird abschließend auf eine der beiden hydrophoben Schichten die Kontaktschicht unter Verwendung einer Tinte, welche ein hydrophobes Polymer und feine Kohlenstoffpartikel enthält, aufgebracht, getrocknet und erneut calciniert.

Eine weitere Möglichkeit zur Aufbringung der hydrophoben Schichten ist die Verbindung der Oberflächen des Kohlenstoffträgers mit grobporigen Vliesen oder dünnen Folien aus hydrophobem Polymer. Die Folien werden auf beide Seiten des Kohlenstoffträgers aufgelegt und dann durch Anwendung von Druck und Hitze mit dem Kohlenstoffträger verbunden. Dabei wird durch Auswahl geeigneter Parameter eine ausreichend hydrophobe Schicht mit der gewünschten Porosität hergestellt. Beim Einsatz von PTFE kann dies durch kurzzeitiges Erhitzen auf über 330°C erreicht werden. Dabei ist es günstig, die aufgelegten Folien während dieses Prozeßschrittes zu fixieren.

Weiterhin kann eine gezielte Oberflächen-Imprägnierung mit Lösungen oder Dispersionen von hydrophobem Polymer durchgeführt werden. Der imprägnierte Kohlenstoffträger wird unter freiem Luftzutritt zu seinen beiden Oberflächen und unter starkem Luftaustausch bei Temperaturen bis 250° C getrocknet. Besonders bevorzugt ist die Trocknung in einem Umlufttrockenschrank bei 60 bis 220, bevorzugt bei 80 bis 140° C. Beide Oberflächen der Kohlefasersubstrate müssen dabei für die Umluft zugänglich sein. Dadurch kommt es zu einer Fixierung des hydrophoben Polymers nahe den beiden Oberflächen des Kohlefasersubstrates, besonders innerhalb der ersten 20 µm an beiden Seiten des Substrates.

Die mit den beschriebenen Verfahren herstellbaren hydrophoben Schichten reichen von jeder Oberfläche des Kohlenstoffträgers ausgehend bis in eine gewisse Tiefe in den Träger hinein und füllen dabei seine Poren zum Teil aus. Durch geeignete Wahl der Verfahrensparameter (verwendetes Polymermaterial, Menge des aufgetragenen Polymermaterials, Calciniertemperatur und Calcinierdauer) kann die Eindringtiefe der Schichten auf einen Wert zwischen 5 und 40 µm festgelegt werden. Bevorzugt werden Schichtdicken zwischen 10 und 20 µm gewählt. Erfahrungsgemäß werden die Poren des Kohlenstoffträgers im Bereich der hydrophoben Schichten mit den beschriebenen Verfahren zu 40 bis 60% mit Polymer gefüllt.

Sollen dagegen die hydrophoben Schichten als diskrete Schichten auf den Oberflächen des Kohlenstoffträgers vorliegen, so wird der Kohlenstoffträger nacheinander auf jeder Seite mit einer Paste aus einem pulverförmigen, hydrophoben Polymer, faserförmigen

Kohlenstoff oder feinteilige Kohlenstoffpartikel und einer flüssigen Phase beschichtet und getrocknet. Anschließend wird die so gebildete dreischichtige Struktur zur Versin-
terung des hydrophoben Polymers calciniert. Abschließend wird dann die Kontakt-
schicht, wie schon zuvor beschrieben, als vierte Schicht auf eine der beiden hydropho-
ben Schichten aufgebracht.

Zur Herstellung der Kontaktschicht wird eine auftragbare Dispersion von Leitfähig-
keitsrußen oder Graphit mit hydrophoben Polymeren hergestellt. Die flüssige Phase
dieser Dispersion kann zum Beispiel eine Mischung aus einem organischen Lösungs-
mittel und Wasser sein. Eine solche Dispersion wird im folgenden auch als Tinte be-
zeichnet. Geeignete Ruße oder Graphite für diesen Zweck sind zum Beispiel Vulcan
XC72 von Cabot oder HSAG 300 von Timcal. Als hydrophobe Polymere eignen sich
auch hier Polyethylen, Polypropylen, Polytetrafluorethylen oder andere organische oder
anorganische, hydrophobe Materialien. Bewährt haben sich Polytetrafluorethylen oder
Polypropylen. Der Kohlenstoffanteil in der Tinte liegt je nach Anwendung zwischen 40
und 90 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht aus Kohlenstoff und Polymer. Die
rheologische Eigenschaften der Tinte können durch geeignete Additive an das jeweilige
Auftragsverfahren angepasst werden.

Nach Vereinigung der Komponenten wird die Tinte homogenisiert. Dabei können be-
kannte Hilfsmittel zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel Hochgeschwindigkeits-
rührer, Ultraschallbäder oder Dreiwalzwerke.

Die homogenisierte Mischung kann mittels verschiedener Techniken auf die oben be-
schriebene dreischichtige Struktur aufgebracht werden. Hierzu gehören zum Beispiel
das Sprühen, Pinseln, Streichen oder Drucken.

Die aufgebrachte Schicht wird bei Temperaturen zwischen 60 und 140, bevorzugt zwi-
schen 80 und 120° C, getrocknet. In einem weiteren thermischen Behandlungsschritt
wird die Schicht calciniert, um das in der Schicht enthaltene hydrophobe Polymer zu
versintern und rheologische Additive und Porenbildner auszubrennen. Im Falle von
Polytetrafluorethylen liegt die Sintertemperatur oberhalb von 330° C. Beim Einsatz von
anderen hydrophoben Polymeren sind die Behandlungstemperaturen entsprechend an-
zupassen.

Die Kontaktschicht weist Schichtdicken zwischen 5 und 100, bevorzugt zwischen 10
und 30 µm auf. Unterhalb einer Dicke von 5 µm wird die Schicht aufgrund ihrer porö-
sen Struktur unregelmäßig. Daraus resultiert eine verminderte elektrische Leitfähigkeit.

Oberhalb von 60 μm wird der Gastransport durch den langen Diffusionsweg zu langsam. Für die häufigsten Anwendungsfälle haben sich Schichtdicken zwischen 10 und 30 μm besonders bewährt.

Die folgenden Beispiele und Figuren verdeutlichen das Wesen der Erfindung. Es zeigen:

Figur 1: Schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Gasverteilerstruktur

Figur 2: Zellspannung in Abhängigkeit von der Stromdichte bei Luftbetrieb für die MEE von Beispiel 1, Beispiel 2 und Vergleichsbeispiel 1 (VB 1)

Die Beispiele 1 - 2 beschreiben die Herstellung von erfindungsgemäßen Gasverteilerstrukturen und damit hergestellten Membran-Elektrodeneinheiten.

Figur 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Gasverteilerstruktur. (1) bezeichnet den blattförmigen, grobporigen Kohlenstoffträger. Er weist auf jeder Seite eine hydrophobe Schicht (2) auf. Die Schichten (2) können entweder von den beiden Oberflächen des Kohlenstoffträgers ausgehend bis in eine gewünschte Tiefe in den Kohlenstoffträger eingebracht oder als diskrete Schichten auf die Oberflächen des Kohlenstoffträgers aufgebracht sein. Eine der beiden hydrophoben Schichten trägt die Kontaktschicht (3).

Vergleichsbeispiel 1 (VB1):

Es wurde eine Brennstoffzelle entsprechend CA 2,052,221 hergestellt.

Kohlefaserpapier mit einer Porosität von 74,1 % und einer Dicke von 200 μm (TGP-H-060 von Toray Inc., Japan) wurde in eine wäßrige PTFE-Dispersion (Hostaflon TF 5032 von Dyneon, Gendorf) getaucht. Nach 10 Minuten wurde das Material herausgenommen. Nach dem Abfließen der oberflächlich anhaftende Dispersion wurde das Kohlefaserpapier 10 bis 15 Minuten lang an der Luft getrocknet. Zum Verschmelzen des in die Struktur eingebrachten PTFE wurde das imprägnierte Kohlefaserpapier auf einer heißen Stahlplatte 10 bis 15 Sekunden lang gesintert. Die Temperatur der Platte lag in einem Bereich von 350 bis 410°C.

Durch Anpassen der PTFE-Konzentrationen in der Dispersion wurden Kohlefaserpapiere mit einem PTFE-Gehalt von 9,3 Gew.-% für die Anode und 4,5 Gew.-% für die Kathode einer Brennstoffzelle hergestellt.

Beispiel 1:

Es wurden Anoden-Gasverteilerstrukturen und Kathoden-Gasverteilerstrukturen gemäß der vorliegenden Erfindung angefertigt und zu kompletten Membran-Elektroden-einheiten verarbeitet.

- 5 Als Basis für die Gasverteilerstrukturen diene wie in Vergleichsbeispiel 1 Kohlefaserpapier mit einer Porosität von 74,1 % und einer Dicke von 200 µm (TGP-H-060 von Toray Inc., Japan). Zur Aufbringung der hydrophoben Schichten wurden 5 g PTFE-Pulver Hostaflon TF1740 (Dyneon Gendorf) mit einer mittleren Korngröße von 25 µm mit 1 g Shellsol D70 (Fa. Shell) angeteigt. Die Mischung wurde durch Rühren zu einer streichfähigen Masse verarbeitet und mit einem Rakel auf eine der Oberflächen des Kohlefaserpapiers aufgebracht. Dann wurde das beschichtete Kohlefaserpapier im Umlufttrockenschrank bei 100°C getrocknet. Anschließend wurde die Rückseite nach dem selben Verfahren beschichtet.

- 15 Zum Verschmelzen des aufgetragenen PTFE wurde das Kohlefaserpapier in einem Kammerofen bei 340-350° C ca. 15 Minuten lang gesintert. Die dabei erhaltenen Kohlefaserpapiere wiesen nach der Behandlung eine Flächenbeladung von 21,15 g PTFE/m² auf. Diese so beschichteten Kohlefaserpapiere dienten im weiteren als Substrate für Anoden-Gasverteilerstrukturen.

- 20 Zur Anfertigung von Substraten für Kathoden-Gasverteilerstrukturen wurde die Menge von Shellsol D70 auf 2 g verdoppelt. Dabei wurden Kohlefaserpapiere mit einer Flächenbeladung von 10,63 g PTFE/m² erhalten.

Zur Aufbringung der Kontaktschichten wurden Tinten entsprechend den nachfolgenden Rezepturen hergestellt:

Tabelle 1: Tinte 1 für die Kontaktschicht der Anoden-Gasverteilerstruktur

12,88 g	Ruß XC72 (Cabot Inc., USA)
52,52 g	Dipropylenglykol
25,16 g	16,7 %-ige Lösung von Mowital B20H (Clariant, Kelsterbach) in Dipropylenglykol-n-butylether
9,08 g	Hostaflon TF5032 (Dyneon, Gendorf)
0,36 g	VE-Wasser

Tabelle 2: Tinte 2 für die Kontaktschicht der Kathoden-Gasverteilerstruktur

12,65 g	Ruß XC72 (Cabot Inc., USA)
50,48 g	Dipropylenglykol
24,37 g	16,7 %-ige Lösung von Mowital B20H (Clariant, Kelsterbach) in Dipropylenglykol-n-butylether
2,95 g	Polyethylenoxid M=300000 (Aldrich, Karlsruhe)
9,22 g	Hostaflon TF5032 (Dyneon, Gendorf)
0,32 g	VE-Wasser

Die Bestandteile der jeweiligen Tinten gemäß den obigen Rezepten wurden in eine Porzellanschale eingewogen und mit einem Flügelrührer vordispersiert. Die Homogenisierung erfolgte mit Hilfe eines Dreiwalzwerks. Die Viskosität der Tinten wurden mit einem Haake-Rotations-Viskosimeter RV20 bei 100 s^{-1} gemessen.

Tabelle 3: Eigenschaften der fertigen Tinten

	Tinte 1	Tinte 2
Viskosität bei 100/s [Pa s]	1,1	10,5
Trockenrückstand [Gew.-%]	22,5	25,2

Die oben beschriebenen Tinten für Anoden- und Kathoden-Gasverteilerstruktur wurden im Siebdruckverfahren auf eine der beiden hydrophoben Schichten der Kohlefaserpapiere aufgebracht und anschließend bei 100° C getrocknet. Die beschichtete Fläche betrug 50 cm^2 . Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis die Struktur des Kohlefaserpapiers bedeckt war.

Anschließend wurden die Gasverteilerstrukturen eine Stunde lang in einem Muffelofen bei 390° C behandelt. Dabei nahm das Gewicht der aufgetragenen Kontaktschicht um 18,5 % im Falle der Anoden-Gasverteilerstrukturen und 28,5 % im Falle der Kathoden-Gasverteilerstrukturen ab. Die Beladung der Substrate mit der calcinierten Kontaktschicht betrug $2,5\text{ mg/cm}^2$. Die Schichtdicke war 15 bis $20\text{ }\mu\text{m}$.

Mikroskopische Aufnahmen der Gasverteilerstrukturen zeigen, dass sich auf beiden Seiten der grobporigen Schicht eine hydrophobe Schicht befindet, die als Hauptbestandteil PTFE enthält. Die Dicke dieser Schicht beträgt 12 bis $15\text{ }\mu\text{m}$ im Falle des Anodengasverteilerstruktur und 5 bis $10\text{ }\mu\text{m}$ im Falle der Kathodengasverteilerstruktur.

Entsprechend dieser Schichtstärke kann der Anteil des PTFE in der hydrophoben Schicht mit Hilfe des Flächengewichts und der PTFE-Beladung des Kohlefasersubstrats zu 54 - 58 Gew.-% berechnet werden. Die Schichten enthalten noch Anteile aus faserförmigem Kohlenstoff, die für die elektrische Kontaktierung sorgen und ausreichend Poren, die Gastransport zulassen. Entsprechend der Flächenbeladung an PTFE, den ermittelten Schichtstärken und der Dichte von PTFE ($2,0 \text{ g/cm}^3$) haben die hydrophoben Schichten eine Restporosität von etwa 53% des ursprünglichen Porenvolumens.

Beispiel 2:

In einer zweiten Versuchsserie wurden die hydrophoben Schichten nach einem alternativen Verfahren in den Kohlenstoffträger eingebracht. Statt der Beschichtung des Kohlenstoffträgers mit einer Paste eines hydrophoben Polymers wurden PTFE-Folien auf die Oberflächen des Kohlenstoffträgers aufgelegt.

Als Kohlenstoffträger diente wieder das schon in Beispiel 1 verwendete Kohlefaserpapier mit einer Porosität von 74,1 % und einer Dicke von $200 \mu\text{m}$ (TGP-H-060 von Toray Inc., Japan). Es wurde auf jeder Seite mit je einer $0,030 \text{ mm}$ dicken Folie aus porösem ePTFE (Dichte: $0,38 \text{ g/cm}^3$, TETRATEX von W.L. Gore & Associates) zusammengebracht und das ganze mehrschichtige Gebilde zwischen zwei Edelstahlblechen (Stärke 1 mm) befestigt. Das so vorbereitete Paket wurde in einem Kammerofen bei $340\text{-}350^\circ \text{C}$ ca. 15 Minuten lang gesintert. Anschließend wurden die Edelstahlplatten entfernt. Die dabei erhaltenen Kohlefaserpapiere wiesen nach der Behandlung eine Flächenbeladung von 17 g PTFE/m^2 auf. Diese Kohlefaserpapiere dienten im weiteren als Substrate für Anoden-Gasverteilerstrukturen.

Der gleiche Versuch wurde mit zwei ePTFE Folien mit einer Dicke von $0,015 \text{ mm}$ (Dichte: $0,38 \text{ g/cm}^3$, TETRATEX von W.L. Gore & Associates) wiederholt. Dabei wurden Kohlefaserpapiere mit einer Flächenbeladung von $9,3 \text{ g PTFE/m}^2$ erhalten. Diese Kohlefaserpapiere dienten im weiteren als Substrate für Kathoden-Gasverteilerstrukturen.

Die in Beispiel 1 beschriebenen Tinten für die Kontaktschichten der Anoden- und Kathoden-Gasverteilerstrukturen wurden im Siebdruckverfahren auf die mit den hydrophoben Schichten versehenen Kohlefaserpapiere aufgebracht und anschließend bei 100°C getrocknet. Die beschichtete Fläche betrug 50 cm^2 . Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis die Struktur des Kohlefaserpapiers bedeckt war.

Anschließend wurden die Gasverteilerstrukturen eine Stunde lang in einem Muffelofen bei 390° C behandelt. Dabei nahm das Gewicht der aufgetragenen Kontaktschicht um 18,5 % im Falle der Anoden-Gasverteilerstrukturen und 28,5 % im Falle der Kathoden-Gasverteilerstrukturen ab. Die Beladung der Substrate mit der calcinierten Kontaktschicht betrug 2,5 mg/cm². Die Schichtdicke war 15-20 µm.

Mikroskopische Aufnahmen der Gasverteilerstrukturen zeigen, dass sich auf beiden Seiten der grobporigen Schicht eine hydrophobe Schicht befindet, die als Hauptbestandteil PTFE enthält. Die Dicke dieser Schicht ist 10 - 15 µm im Falle der Anodengasverteilerstruktur und 5 - 8 µm im Falle der Kathodengasverteilerstruktur. Entsprechend dieser Schichtstärke kann der Anteil des PTFE in der hydrophoben Schicht mit Hilfe des Flächengewichts und der PTFE-Beladung des Kohlefasersubstrats zu 58 Gew.% berechnet werden. Die Schichten enthalten noch Anteile aus faserförmigem Kohlenstoff, die für die elektrische Kontaktierung sorgen und ausreichend Poren, die Gastransport zulassen. Entsprechend der Flächenbeladung an PTFE, den ermittelten Schichtstärken und der Dichte von PTFE (2,0 g/cm³) haben die hydrophoben Schichten eine Restporosität von etwa 54-58% des ursprünglichen Porenvolumens.

Elektrochemische Prüfungen

Die nach Vergleichsbeispiel 1 und Beispiel 1 und 2 hergestellten Anoden- und Kathoden-Gasverteilerstrukturen wurden zusammen mit einer mit Katalysator beschichteten Membran, die entsprechend der Vorschrift aus US-PS 5,861,222 Vergleichsbeispiel 1 hergestellt wurde, in eine Brennstoffzellen-Prüfzelle mit einer aktiven Zellenfläche von 50 cm² eingebaut. Die Beladung der mit Katalysator beschichteten Membran und weitere technische Daten sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Tabelle 5:

Membran	Nafion 112
Anodenkatalysator	40% PtRu(1:1) auf Vulcan XC72
Pt-Beladung (Anode)	0,3 mg/cm ²
Kathodenkatalysator	40% Pt auf Vulcan XC72
Pt-Beladung (Kathode)	0,4 mg/cm ²

25

Bei den Leistungstests wurde als Anodengas eine Gasmischung von 45% H₂, 31% N₂, 21% CO₂, 50 ppm CO mit einem Airbleed von 3% Luft eingesetzt. Als Kathodengas wurde Luft eingesetzt. Die Zelltemperatur betrug 75°C. Der Druck der Arbeitsgase war

1 bar (absolut). Die Stöchiometrie der Gase war 1,1 (Anodengas) und 2,0 (Kathodengas).

Die gemessenen Zellspannungen im Luftbetrieb in Abhängigkeit von der Stromdichte sind beispielhaft in Figur 2 für die Zellen von Vergleichsbeispiel 1 und Beispiel 1 und 2 dargestellt. Man erkennt, dass die Membran-Elektrodeneinheiten mit den erfindungsgemäßen Gasverteilerstrukturen eine deutlich verbesserte elektrische Leistung im Vergleich zum Stand der Technik (VB1) liefern.

Tabelle 6 zeigt die bei einer Belastung der Zellen mit einer Stromdichte von 600 mA/cm² gemessenen Zellspannungen.

10 **Tabelle 6:** Zellspannungen im Reformat/Luftbetrieb bei 600 mA/cm²

Beispiel	Zellspannung [mV]
Vergleichsbeispiel 1	560
Beispiel 1	629
Beispiel 2	622

Patentansprüche

1. Gasverteilerstruktur für Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Gasverteilerstruktur vier Schichten enthält, wovon eine durch-einen blatt-
förmigen, grobporigen Kohlenstoffträger gebildet wird, der auf beiden Seiten je-
5 weils eine poröse, hydrophobe Schicht aufweist, wobei eine dieser beiden hydro-
phoben Schichten eine Kontaktschicht als vierte Schicht der Gasverteilerstruktur
trägt.
2. Gasverteilerstruktur nach Anspruch 1,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass die beiden hydrophoben Schichten ein hydrophobes Polymer ausgewählt aus
der Gruppe Polyethylen, Polypropylen und Polytetrafluorethylen sowie 10 bis 45
Gew.-% Kohlenstofffasern enthalten und eine Dicke von 5 bis 40 μm aufweisen.
3. Gasverteilerstruktur nach Anspruch 1,
15 dadurch gekennzeichnet,
dass die beiden hydrophoben Schichten ein hydrophobes Polymer ausgewählt aus
der Gruppe Polyethylen, Polypropylen und Polytetrafluorethylen sowie 10 bis 45
Gew.-% feinteilige Kohlenstoffpartikel enthalten und eine Dicke von 5 bis 40 μm
aufweisen
- 20 4. Gasverteilerstruktur nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die beiden hydrophoben Schichten ein hydrophobes Polymer ausgewählt aus
der Gruppe Polyethylen, Polypropylen und Polytetrafluorethylen enthalten und bis
in eine Tiefe von 5 bis 40 μm des Kohlenstoffträgers reichen.
- 25 5. Gasverteilerstruktur nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass das hydrophobe Polymer das Porenvolumen des Kohlenstoffträgers im Be-
reich der hydrophoben Schichten zu 40 bis 60% ausfüllt.
- 30 6. Gasverteilerstruktur nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kontaktschicht eine Dicke von 5 bis 100 μm und der Kohlenstoffträger
eine Dicke von 100 bis 400 μm aufweisen.

7. Gasverteilerstruktur nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kontaktschicht eine innige Mischung aus wenigstens einem hydrophoben Polymer und feinteiligen Kohlenstoffpartikeln enthält, wobei der Anteil der Kohlenstoffpartikel am Gesamtgewicht der Kontaktschicht 40 bis 90 Gew.-% beträgt und das hydrophobe Polymer ausgewählt ist aus der Gruppe Polyethylen, Polypropylen und Polytetrafluorethylen.
8. Gasdiffusionselektrode für Brennstoffzellen aus einer Gasverteilerstruktur und einer Elektrodenschicht,
dadurch gekennzeichnet,
dass sie eine Gasverteilerstruktur nach einem der vorstehenden Ansprüche enthält und die Elektrodenschicht auf die Kontaktschicht der Gasverteilerstruktur aufgebracht ist.
9. Membran-Elektrodeneinheit für Brennstoffzellen aus einer Polymerelektrolyt-Membran und beidseitig aufgebrachten Gasdiffusionselektroden,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Membran-Elektrodeneinheit wenigstens eine Gasdiffusionselektrode nach Anspruch 8 enthält.
10. Polymerelektrolyt-Brennstoffzelle,
dadurch gekennzeichnet,
dass sie eine Membran-Elektrodeneinheit nach Anspruch 9 enthält.
11. Verfahren zur Herstellung einer Gasverteilerstruktur nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Kohlenstoffträger nacheinander auf jeder Seite mit einer Paste aus einem pulverförmigen, hydrophoben Polymer, faserförmigen Kohlenstoff und einer flüssigen Phase beschichtet und getrocknet wird und die so gebildete dreischichtige Struktur anschließend zur Versinterung des hydrophoben Polymers calciniert wird und dass danach auf eine der beiden hydrophoben Schichten die Kontaktschicht unter Verwendung einer Tinte, welche ein hydrophobes Polymer und feine Kohlenstoffpartikel enthält, aufgebracht, getrocknet und erneut calciniert wird.
12. Verfahren zur Herstellung einer Gasverteilerstruktur nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Kohlenstoffträger nacheinander auf jeder Seite mit einer Paste aus einem

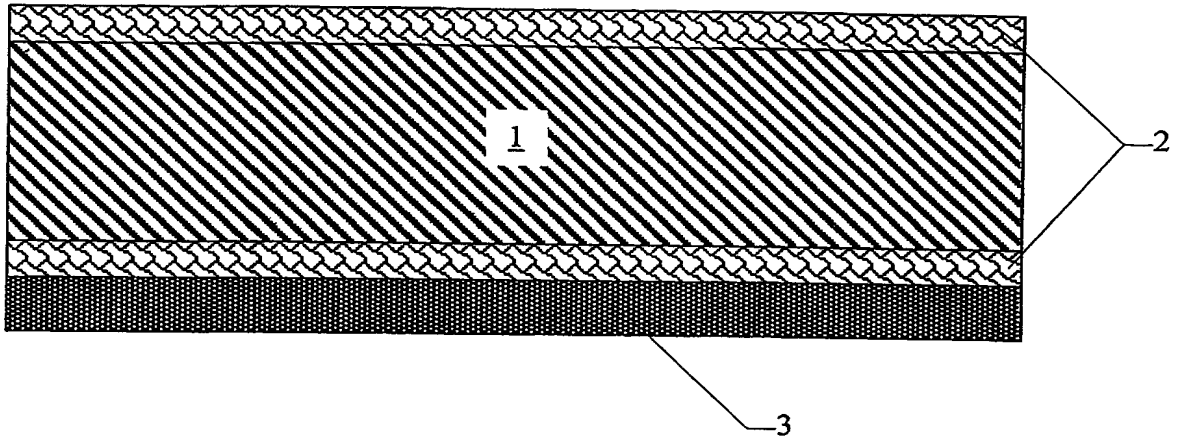
- 5 pulverförmigen, hydrophoben Polymer, feinteiligen Kohlenstoffpartikeln und einer flüssigen Phase beschichtet und getrocknet wird und die so gebildete dreischichtige Struktur anschließend zur Versinterung des hydrophoben Polymers calciniert wird und dass danach auf eine der beiden hydrophoben Schichten die Kontaktschicht unter Verwendung einer Tinte, welche ein hydrophobes Polymer und feine Kohlenstoffpartikel enthält, aufgebracht, getrocknet und erneut calciniert wird.
13. Verfahren zur Herstellung einer Gasverteilerstruktur nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
10 dass der Kohlenstoffträger nacheinander auf jeder Seite mit einer Paste aus einem pulverförmigen, hydrophoben Polymer und einer flüssigen Phase beschichtet und getrocknet wird und die so gebildete dreischichtige Struktur anschließend zur Versinterung des hydrophoben Polymers calciniert wird und dass danach auf eine der beiden hydrophoben Schichten die Kontaktschicht unter Verwendung einer
15 Tinte, welche ein hydrophobes Polymer und feine Kohlenstoffpartikel enthält, aufgebracht, getrocknet und erneut calciniert wird.
14. Verfahren zur Herstellung einer Gasverteilerstruktur nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
20 dass auf beide Seiten des Kohlenstoffträgers eine dünne Folie aus hydrophobem Polymer aufgelegt und durch Anwendung von Druck und Hitze mit dem Kohlenstoffträger verbunden wird und dass danach auf eine der beiden hydrophoben Schichten die Kontaktschicht unter Verwendung einer Tinte, welche ein hydrophobes Polymer und feine Kohlenstoffpartikel enthält, aufgebracht, getrocknet und erneut calciniert wird.
- 25 15. Verfahren zur Herstellung einer Gasverteilerstruktur nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
30 dass der Kohlenstoffträger mit einer ein hydrophobes Polymer enthaltenden Dispersion imprägniert und danach unter freiem Luftzutritt zu seinen beiden Oberflächen getrocknet und anschließend zur Versinterung des Polymers calciniert wird und dass danach auf eine der beiden hydrophoben Schichten die Kontaktschicht unter Verwendung einer Tinte, welche ein hydrophobes Polymer und feine Kohlenstoffpartikel enthält, aufgebracht, getrocknet und erneut calciniert wird.

Zusammenfassung

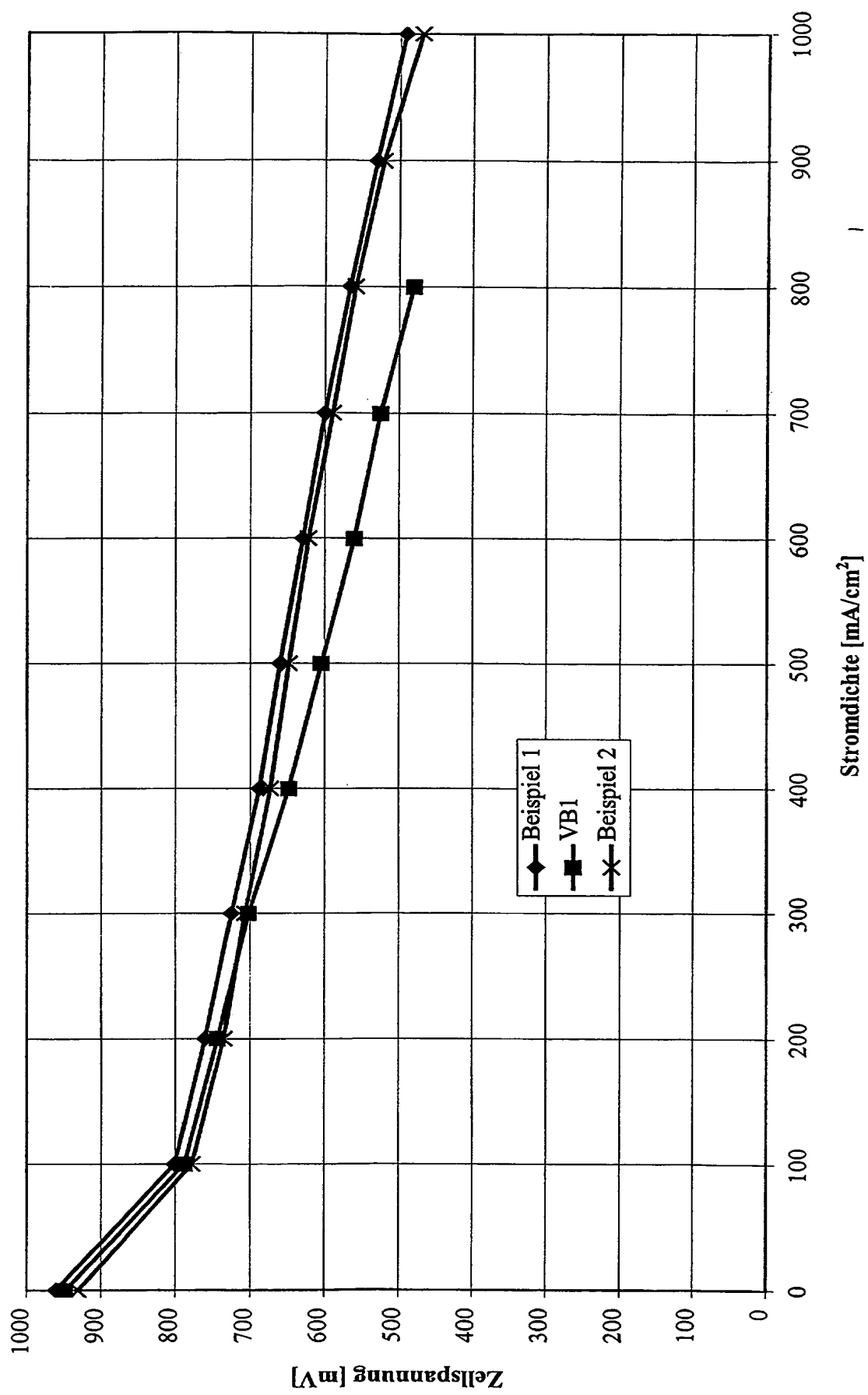
Die Erfindung betrifft eine Gasverteilerstruktur für Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen. Die Gasverteilerstruktur enthält vier Schichten, wobei eine der Schichten durch einen grobporigen Kohlenstoffträger gebildet wird, der auf beiden Seiten mit je einer porösen, hydrophoben Schicht versehen ist, wobei eine der beiden hydrophoben Schichten eine Kontaktschicht als vierte Schicht der Gasverteilerstruktur trägt.

5

EPO - Munich
24
28. April 2000



Figur 1



Figur 2